

QUALIDADE DA MALHA RODOVIÁRIA, CUSTOS ECONÔMICOS ASSOCIADOS E DETERMINANTES DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NO BRASIL: avaliação e proposição de política

Guilherme Jonas Costa da Silva

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Livia Boaventura Menezes

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Henrique Dantas Neder

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

QUALIDADE DA MALHA RODOVIÁRIA, CUSTOS ECONÔMICOS ASSOCIADOS E DETERMINANTES DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NO BRASIL: avaliação e proposição de política

Resumo: Este trabalho tem por objetivo analisar teórica e empiricamente a relação entre a qualidade da malha rodoviária e os custos associados a esta infraestrutura no Brasil. A hipótese deste trabalho afirma que a infraestrutura de transporte rodoviário aumenta o número de acidentes. De fato, os resultados econométricos rejeitaram a hipótese de que a malha rodoviária de melhor qualidade reduz o número de acidentes, o que pode ser explicado pelo fato de que, nas rodovias melhores o nível de atenção dos motoristas é menor, aumentando a velocidade média da pista e o fluxo de veículos. Assim, recomenda que os investimentos no setor sejam acompanhados de melhorias na sinalização e campanhas de educação no trânsito.

Palavras-chave: Malha rodoviária, acidentes, custos econômicos, desenvolvimento regional, dados em painel.

QUALITY OF THE HIGHWAY NETWORK, ASSOCIATED ECONOMIC COSTS AND DETERMINANTS OF TRAFFIC ACCIDENTS IN BRAZIL: evaluation and policy proposition

Abstract: The paper aims to analyze on theoretical and empirical grounds the relationship between the quality of road network and costs associated with this infrastructure in Brazil. The hypothesis of this study is based on the argument that the road infrastructure increases accidents for the Brazilian states. In fact, the econometric results reject the hypothesis that better highway quality reduces the number of accidents, which can be explained by the fact that in the roads with better conditions the driver's attention level is lower, increasing the average track speed and flow of vehicles. Thus, it is recommended that investments in the sectors should be accompanied by improvements in signaling and traffic education campaigns.

Key words: Highway network, accidents, economic costs, regional development, panel data.

Recebido em: 12.05.2014 Aprovado: 15.01.2015.

1 INTRODUÇÃO

O trabalho desenvolve uma análise dos efeitos da qualidade da infraestrutura de transporte rodoviário sobre os acidentes de trânsito no Brasil. Em outras palavras, o objetivo é avaliar a relação entre a quantidade e qualidade da infraestrutura rodoviária brasileira e os custos associados a esta. Neste sentido, um levantamento e análise das condições de infraestrutura das rodovias e de tais custos permitirão uma melhor visualização do problema, facilitando a elaboração de planos de ação e políticas setoriais para sua resolução, ainda que este último não seja o objetivo deste estudo.

Os custos econômicos podem ser divididos em custos tangíveis e intangíveis. Os primeiros são as despesas correntes, aqueles custos que podem ser mensurados, como os danos materiais causados por acidentes ou perda de produção. Os segundos são aqueles que apesar de sentidos pela sociedade, não podem ser calculados, por não serem passíveis de quantificação, como a morte de uma pessoa em consequência de um acidente.

A hipótese deste trabalho é que a infraestrutura de transporte rodoviário aumenta o número de acidentes nos estados brasileiros. A ideia é observar os dados relativos às rodovias no Brasil no período que vai de 2005-2009, disponíveis em bancos de dados de sites relacionados ao setor, e compará-los com dados relativos ao número de acidentes das unidades federativas, através do modelo de regressão de dados em painel.

Uma das principais dificuldades deste trabalho foi a coleta de dados relativos à infraestrutura rodoviária. A ausência de uma base de dados padronizada e consistente implicou na exclusão de algumas variáveis importantes, porém imensuráveis ou de difícil acesso, segundo a literatura consultada neste trabalho.

Para atingir o objetivo e testar a hipótese lançada, o trabalho está dividido em quatro seções, além desta introdução. Na segunda seção, apresenta-se uma fundamentação teórica e empírica

da importância da infraestrutura rodoviária para uma economia. Na seção seguinte, desenvolve-se um diagnóstico da quantidade e qualidade da atual malha rodoviária do país, inclusive fazendo um levantamento dos custos econômicos associados e seus desdobramentos. Na quarta seção, a discussão volta-se para a metodologia, os dados utilizados e os resultados obtidos. Na última, estão as considerações finais deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA EMPÍRICA

2.1A infraestrutura de transporte: uma análise dos fundamentos teóricos

A seção discute os custos e benefícios da infraestrutura de transporte rodoviário para uma economia, em particular, para a brasileira. Para tanto, serão apresentados trabalhos que ressaltam o papel do Estado na economia, como provedor de infraestrutura e como legislador, na intenção de reduzir as externalidades negativas da infraestrutura rodoviária, além de tratar também dos impactos dos investimentos no setor.

É notório que o sistema de transporte traz benefícios para a sociedade que vão muito além da simples mobilidade. A demanda por este bem é normalmente uma demanda derivada de outro, ou seja, ela surge da necessidade de eliminar barreiras espaciais existentes entre a demanda e oferta em outro mercado. Isto significa que a infraestrutura de transporte está integrada ao resto do sistema econômico e não pode ser analisada isoladamente. A construção ou melhoramento de uma rodovia permite, por exemplo, redução dos custos de transporte, aumento dos fluxos comerciais e aumento da especialização local. Em contrapartida, um trecho em mal estado de conservação custa à sociedade valores muitas vezes superiores àqueles que teriam sido necessários para sua reforma.

Segundo Lakshmanan e outros (2001), a avaliação dos investimentos em infraestrutura

de transportes é complicada exatamente pelo fator da demanda derivada. Assim, a estimação dos benefícios desse investimento exige uma análise de seu impacto em outros mercados. Os autores ressaltam, porém, que o uso do sistema de transportes implica em custos significativos, que podem ser internos (combustível, tempo) ou externos (poluição, barulho, acidentes), variáveis ou fixos por viagem, instantâneos (congestionamentos) ou cumulativos (emissão de CO₂), com impacto local ou global.

Assim, compreende-se por que existe um consenso quanto à necessidade de manter a responsabilidade deste setor sob controle estatal (PEREIRA; NASCIMENTO, 1997). Este setor tem as duas características clássicas de bem público consideradas por Varian (1992), a ausência de competição para o consumo e os custos de uso.

No Brasil, o histórico de intervencionismo na área de infraestrutura pelo Estado remonta aos anos 1920, mas foi realmente significativo a partir dos anos 1950, com o Plano de Metas. A participação do Estado nas atividades econômicas no período de 1950 a 1980 foi no sentido de modernizar o parque industrial nacional, na tentativa de desenvolver o país. Este processo passou, obviamente, pelo setor de infraestrutura de transportes.

Por estar sob controle público, a administração de tal infraestrutura pode ser usada para minimizar as disparidades regionais (WORLD BANK, 1994 apud BENITEZ, 1999), diversificar as exportações (LIMA; NASSIF; CARVALHO JR., 1997) e estimular o investimento privado (CHUMVITRIA; TELES, 2000).

Nota-se, portanto, que a atividade de transporte traz, em conjunto com os benefícios, custos para a sociedade, como acidentes, degradação ambiental e poluição sonora. Ao ignorar tais custos, os impactos reais dos investimentos em rodovias podem ser piores do que os previstos. A existência desses custos já foi provada, contudo, os pesquisadores frequentemente se deparam com dados pouco precisos ou incompletos (LITMAN, 2003).

Com efeito, os projetos direcionados para o setor de transportes devem considerar tanto os custos de mercado e internos ao sistema, quanto os custos externos que ela acarretará. Litman (2003) conclui afirmando que o aumento da acessibilidade ocasiona grandes benefícios, mas isto não significa que todo investimento que amplie a mobilidade proporcione benefícios líquidos (benefício marginal superando o custo marginal). Além de um ponto ótimo, o aumento da rede física de transporte causa um declínio no seu aproveitamento.

Litman (2003) também defende que, em alguns casos, políticas públicas que ressaltem as características de mercado do setor, que incentivem a diversificação dos modais, tarifas eficientes e neutralidade econômica, podem ter impactos econômicos positivos maiores do que os investimentos em infraestrutura física.

As leis e regulações que previnem os custos econômicos associados à infraestrutura rodoviária também têm sua importância. No Brasil, pode-se destacar a Lei 11.705, de 19 de junho, aprovada em 2008, que limita a 0,1 mg de álcool por litro de ar no exame do bafômetro para que se possa conduzir um veículo. Este tipo de regulamentação visa reduzir o número de acidentes nas rodovias e diminuir, assim, os gastos com atendimento médico e policial, danos materiais à propriedade e a veículos e, principalmente, reduzir o número de mortos e feridos.

Em São Paulo, ocorre a Operação Horário de Pico, comumente chamada de Rodízio. Nos horários de trânsito intenso, entre as 7 e 10 horas da manhã e 17 e 20 horas da noite, alguns veículos não podem circular em uma área da cidade. O rodízio é definido de acordo com o número final da placa do carro e o dia da semana. Com isto, se reduz o número de veículos em trânsito, diminuindo o risco de acidentes, o tempo gasto em pedágio, a emissão de poluentes, etc.

Litman (2003) explica ainda que as políticas para o setor podem agir sobre a diversidade de transportes disponíveis. Isto ajuda a resolver problemas de trânsito, como congestionamentos,

impactos ambientais e riscos de acidentes, além de permitir que o usuário economize, evite situações estressantes e escolha qual a opção mais eficiente para cada viagem.

Pereira e Nascimento (1997) apontam que é necessário, algumas vezes, atribuir valores monetários a bens que não possuem valor de mercado, apesar de possuir valor para a sociedade, para mensurar o impacto de um investimento. Quando se trata de um setor com forte presença do Estado, o nível ótimo de consumo também não pode ser determinado por um sistema descentralizado de preços. Por isso, tem sido desenvolvido outros métodos de valoração extra-mercados para estes casos. Destaca-se aqui o método de Avaliação Contingente, o de Preços Hedônicos e o de Custo de Oportunidade.

O primeiro deles visa, através da pesquisa direta, estabelecer o valor que a população alvo de um projeto estaria disposta a pagar por seus benefícios. O segundo, de acordo com Griliches (1961 apud PEREIRA; NASCIMENTO, 1997), objetiva a construção de índices de preço que variam de acordo com a qualidade do bem transacionado. O último deles é normalmente utilizado para a avaliação dos custos de oportunidade dos acidentes de tráfego.

2.2 Infraestrutura de transporte rodoviário e custos econômicos associados: uma revisão da literatura empírica

A seção apresenta uma revisão bibliográfica, abordando os efeitos socioeconômicos da infraestrutura rodoviária do país.

Desde o início da colonização brasileira, as discussões sobre integração regional e desenvolvimento econômico passam pela infraestrutura de transporte. Segundo Galvão (1996), durante os anos do império já havia uma preocupação em interligar as áreas distantes do centro da nação a fim de promover o povoamento das localidades mais afastadas das capitais e possibilitar a descoberta de novas fontes de riquezas inexploradas.

Ao longo do século XIX, entretanto, os modais escolhidos para promover esta integração eram o ferroviário ou fluvial em detrimento do rodoviário. Estas duas alternativas, contudo, falharam em promover a integração almejada, uma vez que a baixa intensidade de tráfego não justificava os altos custos fixos dos investimentos necessários para sua expansão e modernização. Com efeito, foi elaborado em 1951 o Plano Nacional de Viação, dando preferência ao modal rodoviário, que se apresentava mais flexível e eficiente. Ainda nos anos 1950, porém, o sistema viário foi considerado pela Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) como incipiente e as rodovias brasileiras como sendo “[...] pobremente conservadas, não pavimentadas e frequentemente perigosas [...]” (UNITED NATIONS; COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE apud GALVÃO, 1996).

É sabido que a infraestrutura gera externalidades ao permitir melhores condições para a realização da atividade econômica, impactando os níveis de eficiência, o crescimento e o desenvolvimento de uma economia (MARTINS, 2005). Assim, a qualidade da mesma é fundamental para melhorar o bem-estar e a produtividade na economia. Ferreira (1996 apud MARTINS, 2005) afirma que os serviços públicos exercem esta influência de forma indireta ao criar condições favoráveis para as empresas e indústrias se desenvolverem, o que permite um aumento da produção e redução do custo por unidade de insumo. Ademais, os serviços públicos estimulam o investimento privado e a elevação do nível de emprego, uma vez que se traduz em elevação da remuneração dos fatores.

Entre as pesquisas que tratam dos custos relacionados às más condições das vias de transporte, a maior parte aborda o problema do ponto de vista da agricultura, dos exportadores ou a falta de infraestrutura de logística. Já com relação aos acidentes de trânsito, existem diversos fatores que influem a sua ocorrência como: a idade da frota; condições climáticas; estado físico, psicológico e

experiência do condutor e também as condições das vias.

Um dos fatores de maior peso e ao qual é dada ênfase nos estudos recentes são os custos humanos dos acidentes de trânsito, que são intangíveis, por não serem passíveis de cálculo: Quanto vale uma vida ou como restituir as vítimas de acidentes pelos sentimentos negativos de raiva, dor, tristeza e sofrimento? Evidentemente, não existe uma resposta convincente ou satisfatória para a questão. Os estudos que analisam as perdas nesse sentido, como o de Rosa e Lindau (2004), tratam como perda de qualidade de vida ou dano moral, como previsto pelo Direito Civil.

A evolução desse cálculo nos países desenvolvidos pode ser dividido em duas fases. A primeira, utilizada com frequência na década de 1950 na Inglaterra e nos Estados Unidos, se baseava na perda de produção líquida do acidentado. A partir da década de 1970, um segundo formato de cálculo, incluindo a reparação pelo sentimento de perda e dor, se tornou popular. Esta reparação, calculada arbitrariamente, foi chamada de *custos humanos* e se refere à perda de qualidade de vida.

Rosa e Lindau (2004) ressaltam a relevância das despesas com acidentes, destacando um estudo feito por Elvik (2000), no qual se estima que tais gastos chegam a representar 2,5% do Produto Interno Bruto (PIB), em média. No Brasil, a cifra era de R\$ 20 bilhões, em 2001. Os autores dividem os custos com acidentes em diretos, referentes aos danos materiais, em custos de produção, concernentes à perda de trabalho e tempo causado pelo acidente; e custos psicológicos e sociais, os quais refletem a aversão da maioria dos indivíduos aos riscos de segurança.

Em 2004, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), lançou um relatório estimando os custos dos acidentes de trânsito nas rodovias federais. Os custos considerados foram aqueles relativos a danos pessoais (custos médico-hospitalares como transporte, hospitalização, exames, remédios e equipamentos para reabilitação, custos relacionados a perda de rendimentos futuros

e custos de funerais), a danos materiais (danos a veículos, carga e propriedade) e outros custos indiretos como de congestionamento, operacionais de atendimento ao acidente, judiciário, administração de seguros e perdas refletindo o valor da vida humana em termos de dor e sofrimento. A análise de dados foi feita em unidades federativas representativas das regiões.

O relatório do DNIT observou que, nas rodovias federais pavimentadas, os acidentes acontecem majoritariamente nos finais de semana (46%), entre as 18 e 19 horas. O tipo de acidente mais comum é a colisão traseira (26%), mas o que causa relativamente mais vítimas fatais são os atropelamentos (13% das mortes observadas). Da amostra, os condutores envolvidos em acidentes eram 92% do sexo masculino e 42% entre 30 e 40 anos, além disso, 41% eram profissionais da área de transporte. Contudo, a frequência de veículos de passeio envolvidos em acidentes era maior do que a de veículos de carga.

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2003), realizou dois levantamentos para analisar o impacto social e econômico dos acidentes de trânsito: um referente à malha rodoviária e outro às aglomerações urbanas. A visão do IPEA a respeito dos acidentes é que eles têm especial relevância entre as externalidades negativas produzidas pelo trânsito, não somente pelos custos econômicos provocados, mas também pela dor, sofrimento e perda de qualidade de vida imputados às vítimas, seus familiares e à sociedade como um todo.

No estudo concernente às aglomerações urbanas, o importante a se destacar para nosso trabalho é o levantamento de quais custos foram levados em consideração pelo IPEA. São eles: custo da perda de produção, custo dos danos ao veículo, custo médico hospitalar, custo de processos judiciais, custo de congestionamentos, custo previdenciário, custo do resgate de vítimas, custo de remoção de veículos, custo de outro meio de transporte, custos dos danos à sinalização de trânsito, custo de atendimento policial e dos

Tabela 1 - Extensão, em Quilômetros, da Malha Rodoviária Pavimentadas, por Região - 2005-2009

Região	2005				2006			
	Federal	Estadual transitória	Estadual	Municipal	Federal	Estadual transitória	Estadual	Municipal
Norte	6.074	356	7.450	1.048	6.074	356	7.450	1.048
Nordeste	18.150	4.254	29.467	1.165	18.146	4.259	29.467	1.165
Sudeste	13.728	7.161	30.190	12.447	13.719	7.189	30.190	12.447
Sul	10.586	3.346	18.636	7.967	10.596	3.346	18.636	7.967
Centro-Oeste	9.611	1.866	12.634	109	9.617	1.866	12.634	109
TOTAL	58.149	16.983	98.377	22.735	58.152	17.016	98.377	22.735
Região	2007				2008			
	Federal	Estadual transitória	Estadual	Municipal	Federal	Estadual transitória	Estadual	Municipal
Norte	7.172	174	8.860	1.048	7.302	518	10.057	1.115
Nordeste	18.967	3.685	31.909	1.557	19.071	3.638	33.475	1.546
Sudeste	13.877	7.817	32.759	15.411	14.028	7.723	34.852	16.654
Sul	10.796	3.687	17.660	7.967	10.900	3.619	17.901	7.967
Centro-Oeste	10.493	1.693	15.360	788	10.618	1.698	15.896	60
TOTAL	61.304	17.056	106.548	26.770	61.920	17.197	112.182	27.342
Região	2009*							
	Federal	Estadual transitória	Estadual	Municipal				
Norte	7.331,6	523,1	8.860,2	1.115,2				
Nordeste	19.080,1	3.634,0	31.908,9	1.546,3				
Sudeste	14.035,2	7.726,5	32.758,8	15.410,5				
Sul	10.900,9	3.584,2	17.660,4	7.966,7				
Centro-Oeste	10.613,5	1.814,2	15.359,6	788,0				
TOTAL	61.961,3	17.282,0	106.547,9	26.826,7				

Fonte: BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Número de Acidentes por Gravidade.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes/quadro-0101-numero-de-acidentes-por-gravidade-anodo2011.pdf>>. Acesso em: 5 de dez. 2010.

Nota: *Os valores para o ano de 2009 são aqueles disponíveis para 2010 na fonte.

Tabela 2 - Frota de Veículos no Brasil (no Mês de Abril) - 2005-2009

Ano	Regiões	Total*	Automóvel	Motocicleta	Caminhonete	Caminhão	Ônibus
2009	Brasil	55.937.035	32.767.771	11.465.907	3.595.412	1.963.100	407.694
	Norte	2.290.912	845.577	772.283	198.558	97.200	21.226
	Nordeste	7606881	3481256	2501880	521324	281952	66388
	Sudeste	29282851	18799497	4997533	1706931	926866	213703
	Sul	11820834	7108284	2074819	758966	481570	71705
	Centro-Oeste	4935557	2.533.157	1.119.392	409.633	175.512	34.672
2008	Brasil	51.200.130	30.570.513	9.920.799	2.779.640	1.875.375	383.634
	Norte	2.007.966	766.600	641.538	157.372	90.290	19.449
	Nordeste	6757991	3212833	2082293	412277	266442	61566
	Sudeste	27050973	17628541	4369601	1297800	886646	202079
	Sul	10943533	6635698	1869869	591269	464745	69915
	Centro-Oeste	4439667	2.326.841	957.498	320.922	167.252	30.625
2007	Brasil	46.572.168	28.412.381	8.397.876	2.106.533	1.791.459	359.528
	Norte	1.763.537	692.555	537.860	120.935	84.300	17.508
	Nordeste	6003649	2944343	1740647	306220	251596	57296
	Sudeste	24752606	16445929	3674126	1005267	846847	189153
	Sul	10075567	6198383	1637865	436242	449244	66802
	Centro-Oeste	3976809	2.131.171	807.378	237.869	159.472	28.769
2006	Brasil	43.039.168	26.749.924	7.251.215	1.748.043	1.722.722	340.622
	Norte	1.557.433	618.499	463.797	98.574	78.641	16.261
	Nordeste	5422937	2726423	1495630	252605	239132	54322
	Sudeste	23015921	15553871	3143185	835019	815274	179154
	Sul	9393334	5869781	1439477	361416	435760	63723
	Centro-Oeste	3649543	1.981.350	709.126	200.429	153.915	27.162
2005	Brasil	40.084.645	25.339.779	6.332.014	1.396.370	1.657.753	324.361
	Norte	1.384.832	561.179	400.726	74.719	73.000	14.963
	Nordeste	4.953.344	2.552.837	1.298.706	195.780	228.360	50.854
	Sudeste	21.612.508	14.806.433	2.739.828	684.711	787.771	171.843
	Sul	8.761.123	5.559.261	1.266.022	284.743	419.846	60.860
	Centro-Oeste	3.372.838	1.860.069	626.732	156.417	148.776	25.841

Fonte: BRASIL. Ministério das Cidades. Departamentos Nacional de Trânsito. **Anuários Denatran:** frota de veículos. Brasília, DF. 2011. Disponível em: http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_denatran/anuarios_estatisticos_do_denatran/anuarios_denatran_frota_de_veiculos_de_2000_a_2009. Acesso em: 5 de dez. 2010.

Nota: *Inclui, além dos citados acima, bonde, caminhão trator, camioneta, chassi plataforma, ciclomotor, micro-ônibus, motoneta, quadriciclo, reboque, semi-reboque, side-car, trator-esteira, trator-roda, triciclo, utilitário.

agentes de trânsito, e impacto familiar. No relatório sobre as rodovias, de 2006 com dados de 2004 e 2005, são feitas diversas análises e comparações com base nos custos médios e totais de acidentes, de forma a facilitar a manipulação das informações do relatório. A estimativa de gastos foi de 6,5 bilhões de reais, preço de dezembro de 2005.

Para finalizar, existe uma crítica à falta de dados mais completos, uma vez que nem todos os acidentes são reportados à polícia rodoviária federal e não é feito um acompanhamento mais prolongado no caso de vítimas, para uma estimativa mais precisa.

3 DIAGNÓSTICOS DA INFRAESTRUTURA PÚBLICA, CUSTOS ECONÔMICOS ASSOCIADOS E CRESCIMENTO DOS ESTADOS BRASILEIROS

3.1 Diagnósticos da infraestrutura pública no Brasil

Para que se faça uma boa análise dos custos econômicos associados à infraestrutura rodoviária, é necessário primeiramente que se conheça a situação atual da mesma. Por isso, será realizado um diagnóstico das rodovias no Brasil.

A extensão da malha rodoviária é um importante indicador de disponibilidade. Deve-se levar em conta não só a quilometragem absoluta, mas também a área do estado em questão. Na **Tabela 1**, é possível observar a extensão das rodovias, conforme apresentado pelo DNIT, e pelo Ministério dos Transportes.

Observa-se que a maior parte das rodovias está sob controle estadual. Apesar desta malha se manter constante de 2005 para 2006 e regredir em 2009, apresentou um crescimento superior ao das rodovias federais. A região Sudeste, com destaque para o estado de São Paulo por ser o centro econômico do país, tem uma provisão de infraestrutura historicamente melhor do que a das demais regiões. Vale ressaltar que Minas Gerais possui a maior distribuição absoluta de rodovias do país, seguido por São Paulo e Bahia.

Como apontado por Martins (2005), as discussões relativas ao processo de globalização coloca a questão da competitividade como chave para a atração e inserção bem sucedida de uma empresa em uma região. Sendo assim, a quantidade e qualidade da infraestrutura rodoviária se tornam relevantes também neste aspecto. Pela distribuição desigual de rodovias no Brasil, o esperado é que os Estados do Sudeste e Sul tenham um poder de atração de indústrias relativamente maior do que os Estados do Norte e Nordeste, consequentemente, apresentando uma dinâmica econômica maior, com 6,50%, os caminhões representam apenas 3,38% do total e os ônibus, 0,70%. Os benefícios da infraestrutura rodoviária e seu uso estão intimamente relacionados, como aponta Lakshmanan e outros (2001). Se houver rodovias disponíveis, mas ninguém para viajar por elas, não existe benefício em tê-las, exceto talvez como valor de opção. A diferença entre disponibilidade de rodovias não parece mais tão exacerbada quando se observa a frota de veículos das mesmas regiões. A prioridade dada ao transporte rodoviário no país faz com que as rodovias sejam muito utilizadas para o transporte de carga.

Os dados demonstram que os estados do Sul e Sudeste lideram o *ranking* de disponibilidade de rodovias, tendo seu valor inclusive aumentado, no entanto, conforme apontado por Litman (2003), uma maior mobilidade proveniente de uma rede rodoviária maior, nem sempre representa mais benefícios para a sociedade.

Deve-se observar, além da extensão da malha rodoviária, a qualidade da mesma. A Confederação Nacional de Transportes realiza anualmente uma pesquisa de qualidade das vias levando em consideração: variáveis de geometria da via (tipo e perfil da rodovia, presença e condição de faixa adicional de subida, obras de arte e condição, existência de curvas perigosas, acostamento), pavimento (condição de superfície, velocidade devido ao pavimento, pavimento do acostamento) e sinalização (existência de faixas centrais e laterais, placas de limite de velocidade, indicação e interseção,

bem como visibilidade e legibilidade das placas).

Na **Tabela 3**, tem-se a classificação das rodovias federais, elaborada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), de acordo com a trafegabilidade, do ponto de vista do usuário: ótima e boa, que seriam consideradas de trafegabilidade tranquila; regular, que exige cautela; e as de trafegabilidade perigosa, classificadas como ruim e péssima.

No Brasil, é notória a diferença qualitativa entre as rodovias do Sudeste, especialmente no estado de São Paulo e as dos demais estados e regiões. As rodovias de pior qualidade se concentram nos estados do Norte, seguidos pelo Nordeste.

A melhoria na qualidade das rodovias é importante para a redução dos custos operacionais envolvidos com trânsito e transporte. Lakshmanan e outros (2001) já apontaram que devido a diversos fatores, como limitação das horas possíveis de se dirigir e desejo daqueles que estão viajando a negócios de retornar para casa no mesmo dia, mesmo uma pequena melhora na infraestrutura de transportes pode levar a reduções substanciais em custos de transportes, além de permitir que se explorem mercados mais distantes.

3.2 Análises dos custos econômicos no Brasil

A importância da manutenção das vias é que através da melhoria de sua qualidade, teoricamente, se reduz os custos tangíveis e intangíveis de acidentes. Anualmente, o Ministério dos Transportes em parceria com o DNIT divulga um relatório de custos médios referentes à construção, adequação e restauração da infraestrutura rodoviária. Abaixo se encontra um resumo do mesmo, tendo como mês-base, janeiro de 2009.

A análise da **Tabela 4**, referente aos custos médios gerenciais das estradas do país por quilômetro, em 2009, apresenta os valores médios de construção, manutenção, conservação e sinalização das estradas nacionais. Inicialmente, nota-se que os gastos com sinalização não são tão elevados assim para justificar um aparente descaso do setor

público, já que várias vidas podem ser salvas com esses gastos e o retorno líquido é imediato. Por outro lado, essa Tabela indica a necessidade de definir eixos prioritários para os investimentos em infraestrutura rodoviária, já que seriam necessários montantes significativos de recursos para administrar apropriadamente as estradas do país. Note que, para a duplicação com construção de uma pista nova, por exemplo, é necessário quase R\$ 4 milhões por quilômetro, e mais, sabendo-se da extensão da malha rodoviária, o volume de recursos é elevadíssimo. Nesse sentido, as Parcerias Público-Privadas podem ser úteis e uma alternativa viável para reduzir os números acidentes no trânsito.

O relatório de 2009 da CNT destaca ainda que

[...] um veículo que transita em uma rodovia cujo pavimento está deteriorado e/ou apresenta muitos buracos terá um gasto adicional desnecessário de combustível devido às acelerações e frenagens, que não ocorreriam com a pista em boas condições.

Além disso, o veículo também sofre mais desgaste nos pneus, freios, câmbio e motor, aumentando os custos operacionais. A CNT estima que, devido às condições atuais das rodovias brasileiras, os custos operacionais dos veículos são 28% maiores do que seriam se elas se encontrassem em bom estado de conservação, principalmente em relação ao pavimento. O aumento dos custos operacionais por região, pode ser visto na **Tabela 5**. A Pesquisa Rodoviária de 2009 foi a primeira na qual a CNT realizou esta análise em relação ao custo operacional, por isso não estão disponíveis os valores dos demais anos para se analisar a variação do mesmo. O DNIT afirma ainda que a cada R\$1,00 investido, R\$3,00 de custo operacional serão economizados. Cervero e Aschauer (1998) definiram como um dos impactos geradores dos investimentos em infraestrutura o *user benefit*, benefício do usuário. Este benefício se apresenta de forma diferente para cada tipo de usuário, empresas e/ou pessoa física.

Tabela 3 - Classificação Geral das Rodovias por Região - 2005 - 2009

Região	Ano	Classificação Geral				
		Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo
Centro-Oeste	2005	10,40%	18,00%	39,60%	22,70%	9,30%
	2006	8,50%	16,40%	44,70%	26,60%	3,80%
	2007	8,00%	16,80%	48,90%	20,70%	5,60%
	2008	9,80%	15,60%	51,50%	18,90%	4,40%
	2009	11,60%	14,20%	54,00%	17,10%	3,10%
Nordeste	2005	2,80%	11,60%	34,10%	21,60%	29,80%
	2006	2,20%	8,00%	40,40%	27,30%	22,10%
	2007	3,20%	10,60%	40,90%	25,50%	19,70%
	2008	5,20%	11,60%	44,40%	23,10%	15,80%
	2009	7,00%	12,60%	47,90%	20,50%	11,90%
Norte	2005	1,50%	11,10%	35,60%	33,40%	18,40%
	2006	2,50%	10,20%	45,30%	32,70%	9,40%
	2007	1,80%	6,80%	44,70%	33,50%	13,10%
	2008	1,60%	7,20%	47,40%	30,60%	13,20%
	2009	1,40%	7,60%	50,00%	27,60%	13,30%
Sudeste	2005	20,60%	19,00%	29,90%	14,90%	15,60%
	2006	22,50%	16,80%	35,20%	16,90%	11,20%
	2007	17,10%	18,00%	35,30%	17,80%	6,90%
	2008	23,00%	19,90%	35,90%	13,60%	5,30%
	2009	28,80%	21,90%	36,50%	9,30%	3,70%
Sul	2005	17,60%	29,00%	34,10%	15,30%	4,10%
	2006	14,70%	21,50%	41,40%	16,50%	6,00%
	2007	15,10%	27,00%	41,80%	11,90%	4,10%
	2008	13,60%	28,80%	42,00%	12,40%	3,40%
	2009	12,00%	30,50%	42,10%	12,80%	2,70%

Fonte: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de Rodovias 2009: relatório gerencial. Brasília, DF: CNT-SEST-CENAT, 2009.

Tabela 4 - Custos Médios Gerenciais - 2009

Obra / Serviço	Intervalo		Média R\$/km
	Limite inferior	Limite superior	
Construção			
Construção de pista simples	1.501.681,87	2.350.822,46	1.926.000,00
Construção de terceira faixa*	1.164.184,10	1.368.964,67	1.267.000,00
Duplicação com construção de pista nova*	2.381.786,74	5.270.732,08	3.826.000,00
Manutenção			
Restauração	275.407,44	868.283,24	572.000,00
Reconstrução	749.747,95	1.308.613,29	1.029.000,00
PIR IV / Recuperação	150.000,00	250.000,00	200.000,00
Conservação			
Pista simples	14.000,00	53.200,00	34.000,00
Pista dupla	21.000,00	88.200,00	55.000,00
Não pavimentada	22.400,00	47.600,00	35.000,00
Sinalização			
	Valor fixo		Média R\$/Km
Sinalização horizontal (1 ano)	3.453,00		3.500,00
Sinalização horizontal (2 anos)	4.476,00		4.500,00
Sinalização vertical	3.762,24		3.800,00

Fonte: (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2009)

Nota: *E restauração da pista existente

Tabela 5 - Aumento no Custo Operacional Devido ao Pavimento - 2009

Região	Aumento no Custo Operacional
Sul	19,30%
Sudeste	21,80%
Centro-Oeste	31,70%
Nordeste	33,10%
Norte	40,60%
Brasil	28,00%

Fonte: (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2009).

Para as empresas, a redução no tempo que se passa em trânsito representa um ganho direto no seu processo produtivo. A infraestrutura de transporte pode significar ganhos na medida em que leva a

reduções no custo e no tempo de transporte. Para a sociedade, os acidentes de trânsito representam um problema grave, tanto pelos danos materiais causados, quanto pelas vidas perdidas com os mesmos. Assim, a redução destes representa um benefício para a sociedade. O DNIT mantém uma base de Estatísticas de Acidentes, a partir de dados fornecidos pelo Departamento de Polícia Federal (DPRF), sobre as rodovias sob sua jurisdição. Na **Tabela 6**, tem-se uma distribuição de acidentes por região e gravidade. No período que vai de 2005 a 2009, o número de acidentes cresceu, mas sua distribuição ao longo do ano continuou a mesma, se concentrando mais nos meses finais de cada ano.

Os acidentes quase sempre acontecem devido a uma combinação de fatores, como desenvolvimento urbano descontrolado no entorno da rodovia, condições inadequadas de engenharia de tráfego, comportamento inadequado por parte do motorista do veículo ou do pedestre, condições inadequadas da frota de veículos ou condições meteorológicas desfavoráveis.

Ainda que estas regiões contem com uma melhor distribuição e qualidade da infraestrutura rodoviária, o número de acidentes no Sul e Sudeste é também superior ao observado nas demais localidades. Segundo as estimativas feitas pelo DNIT, existe um aumento significativo dos custos

por acidentes quando este passa de *sem vítima* (aproximadamente R\$ 6 mil) para *com feridos* (R\$ 90 mil) ou para *com mortos* (R\$ 374 mil). O que destaca a importância de medidas preventivas e de recuperação da malha rodoviária. Assim, segundo Lakshmanan e outros (2001), melhorias na infraestrutura de transporte podem levar a um aumento na especialização local e aumento do fluxo de comércio. Além disso, a expansão de mercado pode ser muito importante para regiões menos desenvolvidas, como Norte e Nordeste. Nelas, a melhoria da infraestrutura de transporte poderia permitir a exploração de recursos naturais de forma mais viável.

4 METODOLOGIA, BASE DE DADOS E RESULTADOS EMPÍRICOS

4.1 Modelos de dados em painel

Os modelos econométricos convencionais têm como principal problema a ocorrência comum de estimativas inconsistentes devido à existência de variáveis omitidas quando estas são correlacionadas aos regressores contidos nas equações. Estas variáveis seriam em sua maioria aquelas que frequentemente não podem ser medidas e que não estão disponíveis nos bancos de dados, mas ao mesmo tempo são variáveis relevantes e que também ajudam a explicar o comportamento da variável dependente.

Com efeito, neste trabalho foram utilizados modelos de dados em painel estático e dinâmicos. O uso desses modelos de dados em painel vem a ser

Tabela 6 - Número de Acidentes por Gravidade - 2005-2009

Estado	Ano	Com morto	Com ferido	Sem vítima	Não informado	Total
Nordeste	2009	1707	11494	18417	199	31817
	2008	1770	10524	16713	185	29194
	2007	1835	9937	15026	110	26908
	2006	1315	7536	12085	0	20936
	2005	1452	7285	13451	0	22188
Norte	2009	329	3519	4716	26	8590
	2008	368	3116	4058	36	7578
	2007	357	2935	3735	27	7054
	2006	295	2381	3164	0	5840
	2005	302	2009	2670	0	4981
Centro-Oeste	2009	677	5850	8299	60	14886
	2008	644	5414	7095	84	13237
	2007	643	4887	6116	81	11727
	2006	531	4093	5411	0	10035
	2005	464	3283	5275	0	9022
Sul	2009	1178	15757	28287	133	45355
	2008	1016	13392	21974	152	36534
	2007	1061	12785	18864	107	32790
	2006	996	11171	16912	0	29034
	2005	1053	11001	17960	0	30014
Sudeste	2009	1789	17898	38920	148	58755
	2008	1825	17197	35375	134	54527
	2007	1861	16252	31721	116	49950
	2006	1787	14310	28404	0	44501
	2005	1732	13421	28728	0	43881

Fonte: (BRASIL, 2010).

uma alternativa adequada a este problema. A disponibilidade de dados para a mesma unidade de observação ao longo de um período determinado permite corrigir de certa forma a inconsistência da estimativa de parâmetros dos modelos.

Apresenta-se nesta seção uma sucinta descrição dos métodos utilizados para a estimação dos efeitos causais. Para tanto, a seção está subdividida em duas partes: modelos de dados em painel estáticos (efeitos fixos e efeitos aleatórios) e modelos de dados em painel dinâmicos.

4.1.1 Modelos de dados em painel estáticos

Segundo Wooldridge (2002), os modelos de dados em painel estáticos subdividem-se em dois tipos de modelos: os modelos de efeitos fixos e os modelos de efeitos aleatórios. Um modelo básico de painel com efeitos não observados pode ser escrito como:

$$y_{it} = x'_{it}\beta + c_i + u_{it}(1)$$

para $t = 1, 2, \dots, T$

em que x_{it} é um vetor $K \times 1$ que contém as variáveis

explicativas observadas, c_i é um termo de efeitos individuais constantes no tempo para cada indivíduo i e u_{it} é conhecido como erro idiossincrático. Para esta especificação podem ser basicamente estimados dois modelos: o modelo de efeitos fixos (quando se pressupõe que o termo de efeitos individuais u_i está correlacionado com um ou mais regressores de x_{it}) ou modelo de efeitos aleatórios fixos (quando se pressupõe que o termo de efeitos individuais u_i não está correlacionado com um ou mais regressores de x_{it}). Para a opção entre uma alternativa e outra se recorre ao teste Hausman que verifica existência de diferença significativa entre os valores dos parâmetros estimados para um e outro modelo. O primeiro modelo - de efeitos fixos - é estimado usando-se muitas vezes a opção de uma operação de diferenciação *within* sendo estimado consistente e eficientemente por mínimos quadrados ordinários e o segundo modelo que é geralmente estimado pelo método de mínimos quadrados generalizados ou por métodos de máxima verossimilhança.

Após a realização do teste Hausman, ainda é necessário confrontar-se uma destas especificações com o modelo *pooled*. Isto é necessário porque ainda existe a eventualidade do processo gerador dos dados não conter efetivamente um termo de efeitos individuais fixos. No caso de haver sido escolhido, através do teste Hausman, um modelo de efeitos fixos, testa-se a significância dos efeitos individuais não observados através de um teste F (conhecido como teste Wooldridge) e no caso da opção ter sido favorável ao modelo de efeitos aleatórios usa-se o teste Breusch-Pagan de multiplicador de Lagrange.

Os modelos estáticos apresentam uma importante limitação. Apesar de ser possível o uso de instrumentos externos para o tratamento da inconsistência por endogeneidade dos regressores, esta opção é raramente adotada em aplicações dada a dificuldade de serem obtidos instrumentos válidos e relevantes. Um tratamento mais adequado deste problema que também permite levar em conta a

natureza dinâmica de determinadas relações é visto na próxima subseção.

4.1.2 Modelos de dados em painel dinâmicos

Muitas relações econômicas são dinâmicas na natureza e uma das vantagens da metodologia de dados em painel é permitir ao pesquisador entender melhor os ajustamentos. Seguindo Baltagi (2001), essas relações dinâmicas são caracterizadas pela presença da variável dependente defasada entre os regressores, conforme a expressão seguinte:

$$y_{it} = \alpha_i + \delta y_{i,t-1} + x'_{it}\beta + u_{it} \quad (2)$$

onde α_i é um escalar, x'_{it} é uma matriz $1 \times K$ de variáveis explicativas e β é um vetor $K \times 1$ de parâmetros. Assume-se que u_{it} segue o modelo de componente de erro a seguir:

$$u_{it} = \mu_i + v_{it} \quad (3)$$

onde $\mu_i \sim \text{IID}(0, \sigma_\mu^2)$ e $v_{it} \sim \text{IID}(0, \sigma_v^2)$ são independentes serialmente (no tempo) e uns com os outros.

Para obter um estimador consistente de quando N e T é fixo, basta tomar a primeira diferença da equação (2) para eliminar os efeitos individuais e, assim, remover a fonte de inconsistência do modelo:

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = \delta(y_{i,t-1} - y_{i,t-2}) + \beta(x_{i,t} - x_{i,t-1}) + v_{i,t} - v_{i,t-1} \quad (4)$$

Por construção $y_{i,t-1}$ em (4) é correlacionado com o efeito de nível individual não observado μ_i . Apesar de termos eliminado o termo de efeito fixo μ_i em (4) surge um novo problema: o termo $y_{i,t-1}$ contido em $y_{i,t} - y_{i,t-1}$ é uma função de $v_{i,t-1}$ que está contido em $v_{i,t} = v_{i,t} - v_{i,t-1}$. Portanto, $y_{i,t-1}$ é correlacionado com $v_{i,t}$ em (4) por construção e não podemos estimar consistentemente por OLS mesmo que os erros $v_{i,t}$ sejam não serialmente correlacionados. A sugestão de Anderson e Hsiao (1981) é usar um estimador 2SLS (mínimos quadrados em dois estágios) utilizando como instrumentos para $y_{i,t-1}$, as variáveis $y_{i,t-2}$ e os demais *lags* anteriores ou simplesmente $y_{i,t-2}$ (e seus demais *lags* anteriores). Estes instrumentos não serão correlacionados com $v_{i,t} = v_{i,t} - v_{i,t-1}$,

desde que o processo v_{it} não seja serialmente correlacionado.

O estimador que usa instrumentos em nível, isto é, y_{t-2} não tem singularidades e apresenta valores de variâncias mais reduzidos, sendo, portanto, recomendados. Arellano e Bond (1991) mostraram como construir condições de momento a partir dos níveis defasados de y_{it} (a partir de y_{it-2}) e a primeira diferença dos erros idiossincráticos (BALTAGI, 2005). O estimador Arellano-Bover/Blundell-Bond (também conhecido como estimador GMM-System) aumenta o estimador Arellano-Bond (conhecido como estimador GMM-Difference) com uma hipótese adicional de que as primeiras diferenças das variáveis instrumentais são não correlacionadas com os efeitos fixos. Isto permite o uso de mais instrumentos, o que pode aumentar bastante a eficiência. Neste último estimador, constrói-se um sistema de duas equações, a equação original diferenciada, assim como uma equação transformada.

Uma hipótese crucial para a validade destes dois métodos de estimação é a de que os instrumentos são exógenos. Se o modelo é sobre-identificado, uma estatística de teste para verificar a validade conjunta das condições de momento é obtida diretamente da estrutura da estimação GMM. Sob a hipótese nula de validade conjunta, o vetor de momentos empíricos $\frac{1}{N}Z'E$ é distribuído aleatoriamente em torno de zero sendo que um teste Wald pode verificar esta hipótese usando a distribuição χ^2 . Esta é a estatística J de Hansen para restrições de sobre-identificação. A estatística de teste é justamente o valor minimizado da função critério do estimador GMM eficiente e exequível. Este procedimento também pode ser utilizado para testar a validade de subconjuntos de instrumentos específicos através do teste de *diferença em Sargan* também conhecido como estatística C.

No entanto, um cuidado que deve ser tomado com relação a duas questões que surgem

quando aumentamos demasiadamente o número de instrumentos (ou de condições de momento). Em primeiro lugar, o teste de restrições de sobre-identificação torna-se mais fraco, já que temos que satisfazer simultaneamente um número muito elevado de condições de momento e é muito difícil fazer com que todo o vetor de momentos empíricos $\frac{1}{N}Z'E$ torne-se nulo em todos os seus elementos.

Outros problemas podem surgir quando aumentamos demasiadamente o número de instrumentos quando se está trabalhando com amostras finitas. De acordo com Roodman (2006) isto não compromete a consistência, mas pode causar problemas com a estimação FEGMM (estimador GMM eficiente e exequível) que precisa utilizar muita informação amostral para a estimação de matrizes de grandes dimensões (quando se trabalha com um grande número de instrumentos). Além disto, um elevado número de instrumentos pode enfraquecer o teste Hansen ao ponto de gerar p-values implausíveis iguais a 1.

No caso da aplicação presente de modelos dinâmicos faremos uso do comando Stata `xtabond2` com as opções *small*, *orthog*, *twostep* e *robust*. A primeira destas opções permite o uso de estatísticas mais adequadas para pequenas amostras. Da mesma forma a opção *orthog* define que a operação de diferenciação da equação em nível é feita com a diferenciação ortogonal: subtrai-se dos valores das observações os valores da média das observações futuras aproveitando mais a informação da amostra. A opção *robust* aponta para a estimativa de erros padrões com correção de viés por heterocedasticidade. Para os testes de restrição de sobre-identificação (testes de validade dos instrumentos) conta-se com duas alternativas: o teste Sargan e o teste Hansen. O primeiro é não robusto, mas não enfraquecido por muitos instrumentos. O segundo é robusto, mas enfraquecido por muitos instrumentos. Se a equação tem poucos instrumentos temos mais confiança nos resultados do segundo teste.

4.2A estratégia de identificação

Nos modelos utilizados para explicar o número de acidentes rodoviários considerou-se como principal variável causal a qualidade das rodovias. No entanto esta qualidade tem um efeito que provavelmente não é linear. Optou-se por uma forma quadrática para a variável qualidade o que resultou em dois termos significativos nas equações e com sinais de acordo com o esperado (positivo para a variável qualidade e negativo para o termo quadrático). No entanto, considera-se que esta variável é predeterminada nos modelos: os choques contemporâneos (que correspondem a variações ocasionais ou aleatórias na variável dependente – número de acidentes) causam efeitos futuros na variável qualidade. Os administradores públicos reagem com certa defasagem a variações no número de acidentes com medidas visando a melhorar a qualidade das rodovias. As principais variáveis que não puderam ser incluídas nos modelos, em função da ausência de informações, são o nível de educação no trânsito dos motoristas e a ação coercitiva (multas e fiscalização) do Estado. Desta forma, os modelos dinâmicos (tanto com o estimador GMM-difference como com o estimador GMM-system) contarão com um sistema de instrumentos de acordo com os seguintes conjuntos:

1 Um conjunto de instrumentos referentes à variável dependente defasada ($y_{i,t-1}$) que é considerada nos modelos como sendo endógena e, portanto com instrumentos correspondentes a variável dependente em nível a partir da segunda defasagem ($y_{i,t-2}, y_{i,t-3}, \dots$) para a equação em diferenças e a partir da diferença da variável dependente em segunda defasagem ($\Delta y_{i,t-2}, \Delta y_{i,t-3}, \dots$).

2 Um conjunto de instrumentos referentes às variáveis que representam o escore de qualidade ($qual_t$ e $qual_t^2$), que são consideradas nos modelos como sendo predeterminadas e, portanto, com

instrumentos correspondentes as suas defasagens em nível a partir da primeira defasagem para a equação em diferenças ($qual_{i,t-1}, qual_{i,t-1}, \dots$ e $qual_{i,t-1}^2, qual_{i,t-2}^2, \dots$) e para a equação em diferenças a partir da primeira defasagem da diferença da variável em nível ($\Delta qual_{i,t-1}, \Delta qual_{i,t-1}, \dots$ e $\Delta qual_{i,t-1}^2, \Delta qual_{i,t-2}^2, \dots$).

4.3 Apresentação e discussão dos resultados

4.3.1 Modelos estáticos

Na **Tabela 7** e na **Tabela 8** são apresentados os resultados das estimações dos modelos estáticos de dados em painel. Para cada variável dependente (acmorts, acferidos e acilesos) são apresentados os resultados de 3 equações, sendo a primeira para o modelo pooled, a segunda para o modelo fixed effects e a terceira para o modelo random effects. Os resultados dos testes Chow, Hausman e Breusch-Pagan nos orientam para a decisão a respeito de cada um destes modelos a escolher.

A análise desenvolvida para a variável dependente acmorts (número de acidentes com mortos), indica que a equação escolhida é a que corresponde ao modelo random effects (equação (3)). No caso da variável dependente acferidos (número de acidentes com feridos), a equação é aquela correspondente ao modelo fixed effects (equação (5)), enquanto que para a variável dependente acilesos, o modelo é o de random effects (equação (9)).

As evidências apresentadas demonstram que existe uma relação não linear e significativa especificamente entre acidentes com mortos e a qualidade das rodovias (equação (3)). Entretanto, o mesmo não ocorre para os acidentes com feridos e com ilesos.

A frota de automóveis apresentou um sinal positivo e significativo, explicando os acidentes com feridos (equação (5)) e com ilesos (equação (9)), mas não explica os acidentes com mortos (equação (3)).

Este resultado sinaliza que a quantidade de veículos é relevante para explicar apenas os acidentes menos graves, não importando tanto assim para acidentes fatais, onde o efeito da qualidade das rodovias é mais evidente.

O comprimento das malhas rodoviárias federais e estaduais apresentou sinal positivo e significativo na equação cuja variável dependente é o número de mortos (equação (3)). Por outro lado, o comprimento da malha rodoviária municipal apresentou sinal negativo e também significância estatística, indicando que os acidentes com feridos e acidentes com ilesos podem estar diminuindo em função do comprimento da malha rodoviária municipal. Uma explicação para este fato é que nestas rodovias, devido à proximidade das áreas urbanas, a velocidade é menor, portanto, o risco de acidentes é menor. Evidentemente, os comprimentos das malhas rodoviárias foram incluídos nos modelos como variáveis de controle, na medida em que se sabe que o aumento do comprimento das malhas em geral tende a aumentar a quantidade de acidentes. No entanto, para o caso de acidentes sem mortos este efeito é negativo. Note ainda que os efeitos das rodovias federais tendem a ser positivos e maiores em módulo quando comparados com os efeitos das rodovias estaduais e municipais.

4.3.2 Modelos dinâmicos

Nas **Tabelas 9, 10 e 11** são apresentados os resultados das estimações para os modelos dinâmicos de dados em painel. Assim como nos modelos estáticos, constatou-se que existe uma relação não linear e significativa entre acidentes com mortos e a qualidade da malha rodoviária no Brasil (estimador Arellano-Bond, equação (1)). Entretanto, diferente dos resultados dos modelos estáticos, nota-se que esta relação não linear apareceu na análise dos acidentes com feridos (estimador Arellano-Bond, equação (3)).

No caso dos acidentes com mortos (estimador Arellano-Bond, equação (1)) e acidentes com feridos (estimador Arellano-Bond, equação (1)), a malha rodoviária federal também apresentou um sinal positivo e também significativo estatisticamente, indicando que os acidentes com mortos ocorrem com mais frequência na malha rodoviária federal, mas estes resultados não foram confirmados pelos modelos estimados por GMM-system (equação (2) e equação (4)), ainda que os sinais dos coeficientes correspondam aos mesmos obtidos pelos modelos estimados com o uso do estimador *GMM-difference*.

Note que, apesar dos coeficientes das variáveis referentes ao comprimento das malhas estaduais e municipais não serem significativos, os mesmos são negativos, confirmando de certa forma aqueles resultados encontrados nos modelos estáticos. A confrontação dos resultados dos modelos dinâmicos confirma que a qualidade das rodovias federais tem um efeito não linear sobre o número de acidentes com mortos (modelos estáticos) e também sobre o número de acidentes com mortos e com feridos (modelos dinâmicos).

No tocante à frota de veículos, as estimativas não apresentaram significância estatística nos modelos dinâmicos, discordando dos modelos estáticos para o caso de acidentes com feridos.

Isto pode significar que as rodovias não alcançaram ainda um nível de congestionamento (densidade de veículos) que comece a causar problemas e a qualidade ainda é o fator mais relevante.

Como os modelos dinâmicos, em sua estratégia de identificação, consideram a hipótese realista de ser a variável qualidade predeterminada, pode-se afirmar de forma mais robusta que a especificação da qualidade das rodovias nos modelos está correta, o que vem ratificar a importância desta dimensão no controle dos acidentes rodoviários, principalmente aqueles em que ocorrem mortes.

Tabela 7 - Resultados modelos de regressão para dados em painel (modelos estáticos)

EQUAÇÃO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
VAR.DEP.	acmortos			acferidos		
VAR. INDEP.						
escorequal	3883.454** (1608.004)	1475.284*** (372.582)	1453.280*** (393.909)	49034.405*** (14360.992)	5069.488 (4043.972)	7741.097* (4652.855)
escorequal2	-3462.709** (1509.855)	-1279.913*** (316.669)	-1251.008*** (332.705)	-41542.136*** (13081.802)	-4489.448 (3574.245)	-6631.833 (4134.695)
PIB	0.000** (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000** (0.000)	-0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Frota	0.000*** (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000*** (0.000)	0.001* (0.000)	0.001** (0.000)
malhafed	0.056*** (0.006)	0.080** (0.037)	0.058*** (0.008)	0.567*** (0.062)	-0.054 (0.219)	0.269 (0.172)
malhaest	0.002 (0.006)	0.010** (0.004)	0.013*** (0.005)	-0.128*** (0.044)	0.280** (0.123)	0.155 (0.099)
malhamun	-0.009 (0.009)	-0.014 (0.019)	-0.015 (0.013)	0.073 (0.110)	-0.572 (0.342)	-0.515* (0.298)
2005b.ano	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
2006.ano	-9.508 (22.472)	-3.032 (5.236)	-3.775 (5.310)	-35.333 (225.506)	65.037 (45.433)	60.621 (37.324)
2007.ano	0.480 (23.555)	9.536 (6.980)	9.273 (6.482)	60.308 (245.032)	196.785*** (57.220)	194.282*** (58.898)
2008.ano	-13.702 (23.872)	-2.609 (7.565)	-4.446 (7.250)	45.125 (262.770)	151.446 (105.132)	171.094* (93.729)
2009.ano	-7.684 (26.542)	2.128 (8.748)	-0.427 (8.731)	204.863 (299.758)	272.902** (117.122)	287.016*** (106.910)
Constant	-1055.549** (412.424)	-445.072*** (127.023)	-419.225*** (108.288)	-14027.607*** (3812.584)	-1391.088 (1180.427)	-2410.369* (1397.445)
Observações	135	135	135	135	135	135
R2	0.805	0.384		0.712	0.655	
R2adj	0.787			0.686		
N	135	135	135	135	135	135
Number of id		27	27		27	27
R2w		0.384	0.374		0.655	0.637
R2b		0.742	0.795		0.432	0.608
R2o		0.734	0.786		0.438	0.608
teste F Woold		0.0000			0.0000	
Hausman			0.9146			0.0338
Teste LM			0.0000			0.0000

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda: Erros padrões robustos em parênteses.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

teste F Wooldridge: Testa H0 { validade do modelo pooled versus Ha { validade do modelo fixed effects.

teste Hausman: Testa H0 { validade do modelo random effects versus Ha { validade do modelo fixed effects.

teste de multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan para efeitos randômicos: testa H0 { validade do modelo pooled versus Ha { validade do modelo random effects.

Tabela 8 - Resultados modelos de regressão para dados em painel (modelos estáticos) - continuação

EQUAÇÃO	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
VAR. DEP.	acilesos			actotal		
VAR. INDEP.						
escorequal	72066.124*	-3453.671	3320.374	125186.651**	3225.327	12244.140
	(37104.270)	(12802.152)	(13306.698)	(51265.138)	(16392.447)	(17605.519)
escorequal2	-59934.206*	3057.873	-2379.793	-105099.792**	-2823.582	-10070.295
	(34951.167)	(11609.490)	(12268.352)	(47952.871)	(14,879.399)	(16,125.105)
pib	0.000***	0.000	0.000	0.000***	0.000	0.000
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
frota	0.001***	0.001**	0.001***	0.001***	0.002**	0.002**
	(0.000)	(0.001)	(0.000)	(0.000)	(0.001)	(0.001)
malhafed	0.992***	-0.197	0.686***	1.617***	-0.162	1.000***
	(0.117)	(0.339)	(0.209)	(0.178)	(0.519)	(0.383)
malhaest	-0.363***	0.140	-0.085	-0.488***	0.430	0.084
	(0.094)	(0.190)	(0.116)	(0.134)	(0.311)	(0.208)
malhamun	0.020	-0.839	-0.679*	0.084	-1.440*	-1.231*
	(0.234)	(0.492)	(0.354)	(0.345)	(0.801)	(0.637)
2005b.ano	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
2006.ano	-298.390	-127.231	-127.516	-343.923	-67.238	-71.655
	(382.560)	(105.958)	(81.610)	(610.666)	(138.316)	(104.551)
2007.ano	-244.326	7.315	-10.498	-168.625	225.449	208.368
	(409.411)	(137.466)	(126.297)	(655.167)	(172.047)	(166.102)
2008.ano	-123.956	117.028	148.257	-72.935	279.744	333.371
	(435.777)	(220.777)	(157.643)	(698.448)	(313.449)	(235.461)
2009.ano	204.636	364.830	394.655*	420.777	648.815*	694.676**
	(523.266)	(256.388)	(214.108)	(830.238)	(361.478)	(310.897)
Constant	-20802.180**	1609.635	-1178.691	-35954.573***	-303.741	-3922.668
	(9511.447)	(3683.506)	(3626.772)	(13240.499)	(4697.274)	(4903.332)
Observações	135	135	135	135	135	135
R2	0.744			0.746		
R2adj	0.721			0.723		
n	135	135	135	135	135	135
Number of id		27	27		27	27
R2w		0.574	0.553		0.618	0.599
R2b		0.421	0.692		0.460	0.677
R2o		0.425	0.685		0.464	0.673
teste F Woold		0.0000			0.0000	
Hausman			0.0789			0.0000
Teste LM			0.0000			0.0000

Fonte: Elaborada pelos autores.

Legenda: Erros padrões robustos em parênteses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

teste F Wooldridge: Testa H0 { validade do modelo pooled versus Ha { validade do modelo fixed effects.

teste Hausman: Testa H0 {validade do modelo random effects versus Ha { validade do modelo fixed effects.

teste de multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan para efeitos randômicos: testa H0 { validade do modelo pooled versus Ha { validade do modelo random effects.

Tabela 9 - Resultados modelos de regressão para dados em painel (modelos dinâmicos)

Variável dependente	Equação Variáveis independentes	(1)	(2)
acmortos	L.acmortos		0.856*** (0.130)
	escorequal	1655.901** (741.496)	896.122 (768.076)
	escorequal2	-1447.617** (619.995)	-804.120 (651.082)
	pib	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
	frota	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
	malhafed	0.182* (0.095)	0.025 (0.022)
	malhaest	-0.011 (0.020)	-0.009 (0.015)
	malhamun	-0.008 (0.047)	0.012 (0.016)
	Constant		-256.142 (225.862)
	Observações	108	108
	Número de casos	27	27
	F_p	8.94e-05	0
	j	20	24
	ar1p	0.0321	0.0102
	ar2p	0.878	0.727
	sargan	0.725	0.278
	hansen	0.464	0.183

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda: Erros padrões robustos em parênteses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabela 10 - Resultados modelos de regressão para dados em painel (modelos dinâmicos)

Variável dependente	Equação Variáveis independentes	(3)	(4)
acferidos	escorequal	16905.912* (8,872.129)	-149.464 (4,015.804)
	escorequal2	-13256.941* (7,355.925)	133.462 (3,496.235)
	frota	0.001 (0.000)	0.000 (0.000)
	malhafed	1.921** (0.845)	0.150 (0.107)
	malhaest	-0.185 (0.231)	-0.037 (0.059)
	malhamun	-0.232 (0.416)	0.015 (0.171)
	L.acferidos		0.908*** (0.106)
	pib		0.000 (0.000)
	Constant		-25.825 (1,100.588)
	Observações	108	108
	Número de casos	27	27
	F_p	0.000263	0
	j	21	18
	ar1p	0.0866	0.0452
	ar2p	0.536	0.361
	Sargan	0.544	0.187
	Hansen	0.839	0.462

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda: Erros padrões robustos em parênteses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabela 11 - Resultados modelos de regressão para dados em painel (modelos dinâmicos)

Variável dependente	equação	(5)	(6)
	Variáveis independentes		
acilesos	escorequal	5435.891 (19,173.117)	20981.351 (23,688.725)
	escorequal2	-4335.370 (17,108.671)	-18992.816 (21,277.396)
	frota	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
	malhafed	0.002 (0.001)	-0.000 (0.000)
	malhaest	0.895 (2.211)	-0.126 (0.256)
	malhamun	-0.397 (0.508)	0.102 (0.161)
	L.ilesos	-0.998 (1.048)	0.366* (0.206)
	pib		1.015*** (0.226)
	Constant		-5756.474 (6,418.619)
	Observações	108	108
	Número de casos	27	27
	F_p	9.78e-06	0
	j	20	21
	ar1p	0.592	0.720
	ar2p	0.712	0.111
	Sargan	0.117	0.000
	Hansen	0.569	0.332

Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda: Erros padrões robustos em parênteses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo analisar teórica e empiricamente a relação entre a qualidade da malha rodoviária e os custos associados a esta infraestrutura no Brasil. A hipótese deste trabalho afirma que a infraestrutura de transporte rodoviário aumenta o número de acidentes e influencia o nível de atividade econômica dos estados brasileiros. Para atingir o objetivo e testar a hipótese foram feitas análises da provisão e qualidade das infraestruturas rodoviárias por região e uma comparação com o desempenho econômico das mesmas. Além disso, foram estimadas regressões de dados em painel, por Método dos Quadrados Mínimos (MQO) empilhado, de forma a se obter a elasticidade das variáveis dependentes (acidentes - com mortos, com vítimas (não fatais) e sem vítimas – e atividade econômica) em relação às variáveis explicativas.

A hipótese foi parcialmente rejeitada pela análise desenvolvida. De fato, a infraestrutura rodoviária precária comprometeu o desenvolvimento regional no país, mas a melhoria na qualidade das rodovias em algumas regiões não reduziu o número de acidentes. Em outras palavras, os resultados econométricos demonstraram que uma melhoria na qualidade da infraestrutura rodoviária, leva a um aumento do número de acidentes e não à sua redução, o que pode ser explicado pelo fato de que nas rodovias melhores o nível de atenção do motorista é menor, aumentando a velocidade média da pista e o fluxo de veículos.

Assim, recomenda-se que os recursos destinados para a infraestrutura rodoviária sejam acompanhados de gastos públicos bem superiores para as melhorias na sinalização e campanhas de educação no trânsito. Litman (2003) afirma que os investimentos em infraestrutura de transporte

devem ser feitos quando os benefícios marginais obtidos em razão dos mesmos forem superiores aos custos marginais e, neste caso, os investimentos em políticas públicas de prevenção de acidentes, fiscalização das rodovias e incentivo ao uso de diferentes modais podem trazer mais benefícios líquidos para a sociedade do que investimentos na melhoria da malha rodoviária.

A partir do exame dos indicadores de provisão e qualidade das rodovias, constatou-se a existência de uma grande deficiência e disparidade regional em termos de infraestrutura rodoviária no Brasil. As regiões Sul e Sudeste lideram as classificações tanto de qualidade quanto de quantidade de infraestrutura rodoviária. Estas regiões são ao mesmo tempo as mais populosas e as que apresentam maior dinâmica econômica, com todas as vantagens e consequências deste fato. Por outro lado, as demais regiões sofrem com a ausência de uma infraestrutura rodoviária apropriada, que aumente a acessibilidade e estimule a instalação de novas empresas nessas regiões. Este fato, sem dúvida, compromete o potencial de crescimento dessas regiões e perpetua a desigualdade regional no Brasil.

Evidentemente, os acidentes de trânsito ocorrem por razões que ultrapassam o fator das condições inadequadas de engenharia de infraestrutura, como o crescimento urbano ao redor das rodovias, comportamento inadequado de motoristas e pedestres, condições inadequadas da frota de veículos e condições meteorológicas adversas. Contudo, alguns resultados apresentados neste trabalho são fundamentais para a compreensão e possível solução do problema em questão.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T. W.; HSIAO, C. Estimation of dynamic models with error components. **Journal of the American Statistical Association**, [S. l.], p. 589-606, 1981.
- ARELLANO, M.; BOND, S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. **Review of Economic Studies**, Sweden, n. 58, p. 277-297, 1991.
- BALTAGI, B. H. **Econometric analysis of panel data**. 5. ed. New York: Wiley and Sons, 2005.
- _____. **Econometric analysis of panel data**. Wiley: Chichester, UK, 2001.
- BENITEZ, R. M. A infraestrutura, sua relação com a produtividade total dos fatores e seu reflexo sobre o produto regional. **Planejamento e políticas públicas**, Brasília, DF, n. 19, p. 278-306, jun. 1999.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Departamentos Nacional de Trânsito. **Anuários Denatran: frotas de veículos**. Brasília, DF. 2011. Disponível em: http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_denatran/anuarios_estatisticos_do_denatran/anuarios_denatran_frota_de_veiculos_de_2000_a_2009. Acesso em: 5 de dez. 2010.
- _____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Número de Acidentes por Gravidade**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes/quadro-0101-numerodeacidentesporgravidade-anode2011.pdf>. Acesso em: 5 de dez. 2010.
- CERVERO, R.; ASCHAUER, D. S. Economic impact analysis of transit investments: guidebook for practitioners. **Transit Cooperative Research Program Report 35**, Washington, DC, 1998.
- CHUMVICHITRA, P.; TELES, V. K. Os Impactos dos Gastos Governamentais em Educação e em Infraestrutura Sobre o Crescimento da Produção do Setor Industrial Brasileiro. **CENER**, [S. l.], n. 11, maio 2000.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2009: relatório gerencial**. Brasília, DF: CNT-SEST-CENAT, 2009.
- ELVIK, R.; AMUNDSEN, A. H. (2000). Improving road safety. **Sweden: Main report - Report 490**. Oslo, 2000.

GALVÃO, O. J. A. Desenvolvimento dos transportes e integração regional no Brasil: uma perspectiva histórica. **Planejamento e políticas públicas**, Brasília, DF, n. 13, jun. 1996.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**: Relatório Executivo. Brasília, DF, 2003.

LAKSHMANAN, T. R. et al. Benefits and costs of transport. Classification, methodologies and policies. **Papers in Regional Science**, [S. l.], n. 80, p. 139-164, 2001.

LIMA, E. T.; NASSIF, A. L.; CARVALHO Jr. M. C. Infraestrutura, Diversificação das Exportações e Redução do "Custo-Brasil": limites e possibilidades. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 7, p. 1-29, jun. 1997.

LITMAN, T. **Transportation cost and benefit analysis**: techniques, estimates and implications. Victoria, BC: Victoria Transport Policy Institute, 2003.

MARTINS, R. Impactos da carência de investimentos na logística pública de transportes para o agronegócio: discussão teórica e evidências para o caso brasileiro. In: CONGRESSO DA SOBER, 43., 2005, Ribeirão Preto, RS. **Anais...** Ribeirão Preto, RS, 2005.

PEREIRA, O.; NASCIMENTO, L. F. Projetos de tecnologia de infraestrutura urbana – das fases de análise econômica e licenciamento à gestão ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 1997, Gramado, RS. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS-PPGEP, 1997. CD-ROM.

ROODMAN, D. How to Do xtabond2: an introduction to Difference and System GMM in Stata. **Working Paper Number 103**, Washington, DC, dec. 2006.

ROSA, C. N.; LINDAU, L. A. Custos Humanos em Acidentes de Trânsito: Valores Estimados para Investimentos e Praticados em Tribunais. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 18., 2004, Florianópolis. **Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes**. Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino

em Transportes, 2004. v. 1. p. 371-381.

VARIAN, H. R. **Microeconomic Analysis**. 3. ed. New York: Norton, 1992.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.

Guilherme Jonas Costa da Silva

Economista

Doutor em Economia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Professor Adjunto do Instituto de Economia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

E-mail: guilhermejonas@ie.ufu.br

Livia Boaventura Menezes

Graduada em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

E-mail: livia_bm@yahoo.com.br

Henrique Dantas Neder

Engenheiro

Doutor em Economia pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Professor Associado do Instituto de Economia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

E-mail: hdneder@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG

CEP: 38408-100